

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

21.10.03  
RECEIVED  
04 DEC 2003  
WIPO PCT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日  
Date of Application: 2002年11月27日

出願番号  
Application Number: 特願2002-344478  
[ST. 10/C]: [JP2002-344478]

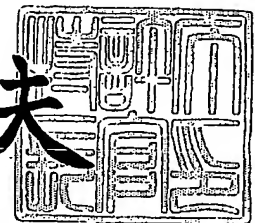
出願人  
Applicant(s): エヌイーシーマシナリー株式会社

PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2003年11月21日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今井康夫



【書類名】 特許願  
【整理番号】 P14-375  
【提出日】 平成14年11月27日  
【あて先】 特許庁長官 殿  
【国際特許分類】 B23K 26/00

B23K 26/08

B23K 26/36

【発明の名称】 表面処理方法

【請求項の数】 11

【発明者】

【住所又は居所】 滋賀県草津市南山田町縄手崎 8 5 番地 エヌイーシーマ  
シナリー株式会社内

【氏名】 沢田 博司

【特許出願人】

【識別番号】 000110859

【氏名又は名称】 エヌイーシーマシナリー株式会社

【代理人】

【識別番号】 100064584

【弁理士】

【氏名又は名称】 江原 省吾

【選任した代理人】

【識別番号】 100093997

【弁理士】

【氏名又は名称】 田中 秀佳

【選任した代理人】

【識別番号】 100101616

【弁理士】

【氏名又は名称】 白石 吉之

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100107423

【弁理士】

【氏名又は名称】 城村 邦彦

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100120949

【弁理士】

【氏名又は名称】 熊野 剛

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100121186

【弁理士】

【氏名又は名称】 山根 広昭

## 【手数料の表示】

【予納台帳番号】 019677

【納付金額】 21,000円

## 【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0215560

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 表面処理方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 材料表面に、グレーティング構造を形成し、材料表面特性を変化させることを特徴とする表面処理方法。

【請求項 2】 材料表面に、加工閾値近傍のレーザを照射し、その照射部分をオーバーラップさせながら走査して、自己組織的に前記グレーティング構造を形成することを特徴とする請求項 1 に記載の表面処理方法。

【請求項 3】 前記グレーティング構造を、複数方向に重ね合わせて形成することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の表面処理方法。

【請求項 4】 前記グレーティング構造を、複数方向に混在させて形成することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の表面処理方法。

【請求項 5】 材料表面に、偏光方向が異なる複数パルスの加工閾値近傍のレーザをパルスが時間的に重ならない条件で照射し、その照射部分をオーバーラップさせながら走査して、自己組織的に前記グレーティング構造を複数方向に重ね合わせて形成することを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれかに記載の表面処理方法。

【請求項 6】 材料表面に、加工閾値近傍のレーザを照射し、その照射部分をオーバーラップさせながら走査する際、走査中に偏光方向を変化させることにより、自己組織的に前記グレーティング構造を複数方向に混在させて形成することを特徴とする請求項 1 または 2、または 4 のいずれかに記載の表面処理方法。

【請求項 7】 シリンドリカルレンズを用いてレーザを集光し、前記グレーティング構造を広範囲に形成することを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれかに記載の表面処理方法。

【請求項 8】 前記グレーティング構造の周期ピッチが  $1\ \mu\text{m}$  以下であることを特徴とする請求項 1 から 7 のいずれかに記載の表面処理方法。

【請求項 9】 前記材料表面特性が、防塵、微粒子付着抑制効果であることを特徴とする請求項 1 から 8 のいずれかに記載の表面処理方法。

【請求項 10】 前記材料表面特性が、摩擦、摩耗低減効果であることを特徴とする請求項 1 から 8 のいずれかに記載の表面処理方法。

【請求項 11】 前記材料表面特性が、濡れ性抑制効果であることを特徴とする請求項 1 から 8 のいずれかに記載の表面処理方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は表面処理方法に関し、特に材料表面にレーザを照射して材料表面特性を変化させる表面処理方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

近年、従来の機械と比較すると 2 桁以上小さい寸法の部品から構成されているマイクロマシンの研究が活発に行なわれている。重力等の慣性は寸法の 3 乗に比例するが、表面力は寸法の 2 乗に比例するため、マイクロマシンのような小さな部品の動作時には、重力の影響よりも、2 物体間に作用する表面力の影響が顕在化してくる。特に、2 物体間の界面間に大気中の水分が凝縮した水の表面張力（メニスカス力）に起因する引き離し力（凝着力）が、摩擦力に支配的な影響を与えることが知られている（例えば、非特許文献 1 参照。）。また、この引き離し力は、表面の微細な凹凸により大きく低減できることが知られている（例えば、非特許文献 2 参照。）。

【0003】

さらに、ナノスケールの凹凸は、摩耗の抑制や潤滑剤の保持機能による長寿命化に著しい効果があることも報告されており（例えば、非特許文献 3 参照）、表面にナノスケールの微細構造を形成する加工法の開発が望まれている。

【0004】

一方、加工閾値近傍のフルエンスで直線偏光のレーザをポリマに照射すると、グレーティング状の微細周期構造が形成されることが知られている（例えば、非特許文献 4, 5, 6 参照）。また、金属や半導体にも同様の微細周期構造が形成でき、照射角度により、その周期ピッチが変化することが報告されている（例え

ば、非特許文献 7, 8 参照)。

【0 0 0 5】

いずれも、波長オーダーの周期構造が自己組織的に形成されるが、その範囲はレーザスポット内に限られている。したがって、その応用範囲も極狭い領域に限定される。もし、この周期構造を各種材料に対して広範囲に形成できれば、トライボロジー特性の改善に有効な加工法となる。さらにフェムト秒レーザを用いることで、熱影響による材料特性の劣化が現われやすい小型部品や、非常に薄い部品にも適用することが可能になる。

【0 0 0 6】

さらに、チタンサファイアレーザを集光した高強度のフェムト秒パルスを、2 つに分割して光路長の異なる時間差を有する 2 軸レーザを材料表面に照射して、材料表面において、これら 2 軸レーザの干渉によって、微細な周期構造を形成すること、および材料を X-Y ステージに取りつけて、レーザの繰り返し周波数と同期させて走査することによって、材料全体に周期構造を形成することが報告されている (例えば、非特許文献 9 参照)。

【0 0 0 7】

【非特許文献 1】

安藤泰久, 田中敏幸, 伊能二郎, 角田和雄: ナノメートルスケールの表面形状と摩擦力・引き離し力の関係, 日本機械学会論文集 (C 編), 65, 637 (1990) P. 306

【非特許文献 2】

K.N.G.Fuller and D.Taber, :The effect of surface roughness on the adhesion of elastic solids, Proc.Roy.Soc.Lond., A, 345, (1975) P. 327.

【非特許文献 3】

M.Maillat, S.M.Pimenov, G.A.Shafeev and A.V.Simakin, Tribol Lett., 4, (1998), P. 237.

【非特許文献 4】

P.E.Dyer and R.J.Farley: Periodic surface structures in the excimer laser ablative etching polymers., Appl.Phys.Lett., 57, 8 (1990) P. 765.

## 【非特許文献 5】

H.hiraoka and M.Sendova:Laser-induced sub-half-micrometer periodic structure on polymer surfaces., App.Phys.Lett., 64, 5(1994)P.563.

## 【非特許文献 6】

M.Bolle and S.Lazare:Submicron periodic structures produced on polymer surfaces with polarized excimer laser ultraviolet radiation, Appl.Phys.Lett., 60, 6(1992)P.674.

## 【非特許文献 7】

A.E.Siegman, P.M.Fauchet:Stimulated Wood's anomalies on laser-illuminated surfaces, IEEE J.Quantum Electron., QE-20, 8(1986)P.1384.

## 【非特許文献 8】

南志昌, 豊田浩一: レーザー誘起表面電磁波による金属・半導体のリップル形成入射角依存性, レーザー研究, 28, 12(2000)P.824.

## 【非特許文献 9】

河村賢一, 平野正浩, 細野秀雄: フェムト秒レーザーのシングルパルス干渉露光による無機材料の微細加工とその応用, レーザー研究, 30, 5(2002)P.244.

## 【0 0 0 8】

## 【発明が解決しようとする課題】

上記の非特許文献 1 ~ 9 に記載されている周期構造の作成方法では、簡単に、しかも広範囲に正確な周期ピッチの周期構造を作成することが困難であり、したがって、その効果も不分明であり、具体的な応用は考えられていないという解決すべき課題があった。

## 【0 0 0 9】

そこで、本発明は、各種材料表面にレーザを照射して、材料表面特性を変化させる表面処理方法を提供することを目的とする。

## 【0 0 1 0】

## 【課題を解決するための手段】

本発明の請求項 1 に記載された表面処理方法は、材料表面に、グレーティング構造を形成し、材料表面特性を変化させることを特徴とするものである。

## 【0011】

ここで、レーザは、CO<sub>2</sub>レーザやYAGレーザなどのピコ秒やナノ秒パルスレーザなど、各種のレーザを用いることが可能であるが、例えば、チタンサファイアレーザを利用することができる。チタンサファイアレーザパルスは、例えば、パルス幅120fs、中心波長800nm、繰り返し周波数1kHz、パルスエネルギー0.25~400μJ/pulse、ピーク強度107kWの超短パルスのフェムト秒レーザである。

## 【0012】

超短パルスレーザ（フェムト秒レーザ）を材料表面に照射すると、CO<sub>2</sub>レーザやYAGレーザのピコ秒やナノ秒パルスレーザを照射する場合に比較して、レーザのパルス幅が小さいので熱伝導が小さく、レーザ照射部分近傍の基板温度上昇はほとんどないので、熱影響による材料特性の劣化が防止できる。また、レーザを照射した部分のみに微細なグレーティング構造を作成できるため、マイクロマシンなどの微細な部品の用途に好適である。

## 【0013】

すなわち、レーザ照射時の熱拡散長 $L_D$ は、材料の拡散係数を $D$ 、レーザのパルス幅を $\tau_l$ とすると、 $L_D = (D \tau_l)^{1/2}$ で表せる。ここで、 $D = k_T / \rho c_p$ で、 $k_T$ 、 $\rho$ 、 $c_p$ は、それぞれ熱伝導度、密度および熱容量である。したがって、熱拡散長 $L_D$ は、パルス幅 $\tau_l$ の平方根に比例するため、超短パルスレーザを照射すれば、レーザ照射時の熱拡散長が非常に小さくなり、パルス幅がピコ秒以下になると、熱拡散をほとんど無視することができ、小型の部品加工に有利になる。

## 【0014】

レーザが基板表面に照射されると、基板表面の凹凸によりレーザが散乱され、表面散乱が生じる。直線偏光のレーザを基板に照射すると、p偏光成分のみに入射光とその表面に沿った散乱光の干渉が起こる。入射光のフルエンスが閾値近傍の場合、入射光と表面に沿った散乱光の干渉部分だけがアブレーションされる。一旦、アブレーションが始まり表面粗さが増加すると、次のレーザ照射時には、表面散乱の強度が大きくなり、さらにアブレーションが進むとともに、1波長 $\lambda$ だけ離れた位置でも干渉が起こる。レーザ照射を繰り返すと、次々に自己組織的



に波長間隔で周期的にグレーティング構造が形成されていく。このようにして、一軸のみのレーザ照射によって、グレーティング構造を作成することができる。この材料表面へのグレーティング構造の形成により、塵埃・微粒子付着性、摩擦・摩耗性、濡れ性などの一つまたは二つ以上の材料表面特性が変化させることができる。

#### 【0015】

本発明の請求項2に記載の表面処理方法は、材料表面に、加工閾値近傍のレーザを照射し、その照射部分をオーバーラップさせながら走査して、自己組織的に前記グレーティング構造を形成することを特徴とするものである。

#### 【0016】

材料表面に、加工閾値近傍のレーザを照射し、その照射部分をオーバーラップさせながら走査することにより、自己組織的にグレーティング構造が形成される。このグレーティング構造は、レーザの偏光方向によって、例えば、X方向のグレーティング構造や、Y方向のグレーティング構造などが形成できる。なお、レーザ照射により形成される凹凸は、数十ショット程度で波長オーダーまで成長するが、300ショット以上レーザを照射すると熱影響により不明瞭となる。そこで、同位置に照射されるショット数の合計が10～300ショットとなるようにオーバーラップさせながら走査させることで、グレーティング構造を広範囲に拡張形成することが可能になる。

#### 【0017】

本発明の請求項3に記載された表面処理方法は、前記グレーティング構造を、複数方向に重ね合わせて形成することを特徴とするものである。

#### 【0018】

上記請求項3に記載の表面処理方法は、レーザの偏光方向を変更することによって、グレーティング構造の方向を変更することができることに基づいて、例えば、加工閾値近傍のレーザを照射し、その照射部分をオーバーラップさせながらレーザをある方向に走査して、一方向のグレーティング構造を形成した後、そのグレーティング構造に重ね合わせて、材料表面とレーザの偏光方向の相対角度を変更して、加工閾値近傍のレーザを照射し、その照射部分をオーバーラップさせ

ながらレーザを走査することによって、グレーティング構造を形成することにより、複数方向に重ね合わせたグレーティング構造を形成することができる。したがって、例えば、先のグレーティング形成時と後のグレーティング形成時における材料表面とレーザの偏光方向の相対角度を  $90^\circ$  変更すれば、格子状のグレーティング構造を形成することができるし、先のグレーティング形成時と後のグレーティング形成時における材料表面とレーザの偏光方向の相対角度を  $90^\circ$  以外の任意角度で変更すれば、斜格子状のグレーティング構造を形成することができる。

#### 【0019】

本発明の請求項 4 に記載された表面処理方法は、前記グレーティング構造を、複数方向に混在させて形成することを特徴とするものである。

#### 【0020】

上記請求項 4 に記載の表面処理方法によれば、前述のように、レーザの偏光方向を変更することによって、グレーティング構造の方向を変更することができることに基づいて、例えば、加工閾値近傍のレーザを照射し、その照射部分をオーバーラップさせながらレーザをある方向に走査して、一方向のグレーティング構造を連続的または間隔をあけて形成した後、そのグレーティング構造に隣接して、または離隔させて、材料表面とレーザの偏光方向の相対角度を変更して、加工閾値近傍のレーザを照射し、その照射部分をオーバーラップさせながらレーザを走査することによって、先に形成した一方向のグレーティング構造に隣接して、または離隔して異なる方向にグレーティング構造を形成することができる。したがって、先のグレーティング形成時と後のグレーティング形成時における材料表面とレーザの偏光方向の相対角度を  $90^\circ$  変更すれば、X 方向のグレーティング構造と Y 方向のグレーティング構造とを混在させて形成することができるし、先のグレーティング形成時と後のグレーティング形成時における材料表面とレーザの偏光方向の相対角度を  $90^\circ$  以外の任意角度で変更すれば、向きが異なったグレーティング構造を混在させて形成することができる。

#### 【0021】

本発明の請求項 5 に記載された表面処理方法は、材料表面に、偏光方向が異な

る複数パルスの加工閾値近傍のレーザをパルスが時間的に重ならない条件で照射し、その照射部分をオーバーラップさせながら走査して、自己組織的に前記グレーティング構造を複数方向に重ね合わせて形成することを特徴とするものである。

#### 【0 0 2 2】

上記請求項 5 に記載の表面処理方法によれば、レーザ発生装置で発生したレーザを、ハーフミラーで 2 つのレーザに分離し、一方のレーザに光学遅延を形成する。双方のレーザを偏光装置によって所定方向に偏光させて、ハーフミラーに供給し、このハーフミラーで所定方向に偏光された双方のレーザを重ね合わせて、材料表面に照射することで、偏光方向が異なる複数パルスの加工閾値近傍のレーザを、材料表面に所定の時間間隔で照射することができる。そして、その照射部分をオーバーラップさせながら走査することによって、自己組織的に複数方向に重ね合わされたグレーティング構造を一度に形成することができる。したがって、例えば、偏光方向が  $90^\circ$  異なる複数パルスの加工閾値近傍のレーザを所定の時間間隔で照射し、その照射部分をオーバーラップさせながら走査することによって、自己組織的に X 方向のグレーティング構造と方向が  $90^\circ$  異なる Y 方向のグレーティング構造とを重ね合わせた格子状のグレーティング構造を一度に形成することができる。偏光方向が  $90^\circ$  以外の任意角度異なる複数パルスの加工閾値近傍のレーザを所定の時間間隔で照射し、その照射部分をオーバーラップさせながら走査することによって、自己組織的に  $90^\circ$  以外の任意角度で交差する斜格子状のグレーティング構造を形成することができる。

#### 【0 0 2 3】

本発明の請求項 6 に記載された表面処理方法は、材料表面に、加工閾値近傍のレーザを照射し、その照射部分をオーバーラップさせながら走査する際、走査中に偏光方向を変化させることにより、自己組織的に前記グレーティング構造を複数方向に混在させて形成することを特徴とするものである。

#### 【0 0 2 4】

上記請求項 6 に記載の表面処理方法によれば、前述のように、レーザの偏光方向を変更することによって、グレーティング構造の方向を変更することができる

ことに基づいて、例えば、加工閾値近傍のレーザを照射し、その照射部分をオーバーラップさせながらレーザを走査して、グレーティング構造を所定の長さ形成した後、レーザの照射を継続しながら、そのグレーティング構造に隣接して、または離隔させて、レーザの偏光方向を変更して、加工閾値近傍のレーザを照射し、その照射部分をオーバーラップさせながらレーザを走査することによって、先に形成したグレーティング構造に隣接して、または離隔して方向の異なるグレーティング構造を形成することができる。したがって、先の偏光方向と後の偏光方向とを $90^\circ$  変更すれば、縦方向のグレーティング構造と横方向のグレーティング構造とを混在させて形成することができるし、レーザ走査中に偏光方向を任意の回数 $90^\circ$  以外の任意角度で変更すれば、任意の方向のグレーティング構造を任意の数、混在させて形成することができる。

#### 【0025】

本発明の請求項7に記載された表面処理方法は、シリンドリカルレンズを用いてレーザを集光し、前記グレーティング構造を広範囲に形成することを特徴とするものである。

#### 【0026】

上記請求項7に記載の表面処理方法によれば、レーザビームをビームエキスパンダによって大径のレーザビームに拡大し、この大径のレーザビームをシリンドリカルレンズによって集光すると、幅狭状で長い線状レーザが得られるので、この線状レーザを材料表面に照射し、その照射部分をオーバーラップさせながら走査して、自己組織的に前記グレーティング構造を広範囲に形成することができる。したがって、大面積のグレーティング構造を短時間で形成することができる。

#### 【0027】

本発明の請求項8に記載された表面処理方法は、前記グレーティング構造の周期ピッチが $1\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とするものである。

#### 【0028】

上記請求項8に記載の表面処理方法によれば、従来の機械加工によっては得られなかった周期ピッチが $1\mu\text{m}$ 以下の微細なグレーティング構造が簡単に得られるので、マイクロマシンなどの微細な部品表面は元より、通常の部品表面にも微

細なグレーティング構造を形成して、その材料表面特性を変化させることができる。

#### 【 0 0 2 9 】

本発明の請求項 9 に記載された表面処理方法は、前記材料表面特性が、防塵、微粒子付着抑制効果であることを特徴とするものである。

#### 【 0 0 3 0 】

上記請求項 9 に記載の表面処理方法によれば、グレーティング構造により大気中の水分が凝縮した水の表面張力に起因する引き離し力が低減されることによって、その最外表面に付着する塵埃、微粒子の付着力が低減され、材料表面の防塵、微粒子付着抑制効果が得られる。

#### 【 0 0 3 1 】

本発明の請求項 1 0 に記載された表面処理方法は、前記材料表面特性が、摩擦、摩耗低減効果であることを特徴とするものである。

#### 【 0 0 3 2 】

上記請求項 1 0 に記載の表面処理方法によれば、潤滑剤を用いない乾燥摩擦においては、グレーティング構造により引き離し力が低減されることによって、その最外表面と摺接する他の材料表面に作用する力が低減され、材料表面の摩擦、摩耗低減効果が得られる。また、潤滑剤を用いる場合は、グレーティング構造が潤滑剤の保持および補給機能を持つことにより、材料表面の摩擦、摩耗低減効果が得られる。

#### 【 0 0 3 3 】

本発明の請求項 1 1 に記載された表面処理方法は、前記材料表面特性が、濡れ性抑制効果であることを特徴とするものである。

#### 【 0 0 3 4 】

上記請求項 1 1 に記載の表面処理方法によれば、グレーティング構造により材料の見かけの面積と実表面積の比が大きくなり、見かけの表面エネルギーが変化することで、濡れ性抑制効果が得られる。

#### 【 0 0 3 5 】

#### 【発明の実施の形態】

以下、図面を参照して本発明のグレーティング構造の形成原理について説明し、その後に実施形態について説明する。図1は本発明のグレーティング構造形成メカニズムについて説明する概略斜視図と、グレーティング構造の作成過程のブロック図とを示す。図1の概略斜視図において、レーザ1を材料2の表面に照射すると、入射光のp偏光成分3と、表面散乱光のp偏光成分5との干渉が起こり定在波7が生じる。なお、4は入射光のs偏光成分、6は表面散乱光のs偏光成分である。

#### 【0036】

入射光のフルエンスがレーザの閾値近傍の場合、入射光のp偏光成分3と表面に沿った散乱光のp偏光成分5の干渉部分だけがアブレーションされる(12)。一旦アブレーションが始まり表面粗さが増加すると、次のレーザ照射時には表面散乱光の強度が増加し(13)、さらにアブレーションが進むとともに、1波長 $\lambda$ 離れた位置でも干渉が起こる。レーザ照射を繰り返すと、それによって入射光の波長 $\lambda$ 間隔で干渉が生じることにより(14)、グレーティング構造が自己組織化により作成される(15)。

#### 【0037】

このグレーティング構造の凹凸は、10～300ショットで波長オーダーまで成長するが、300ショット以上レーザを照射すると、凹凸が不明瞭になる。したがって、同位置に照射されるショット数が10～300ショットとなるように、レーザをオーバーラップさせながら走査させることで、グレーティング構造を試料表面の広範囲に拡張することが可能になる。なお、レーザの走査は、材料2を支持するテーブルを移動させてもよいし、レーザ側を走査してもよい。

#### 【0038】

図2はグレーティング構造作成装置20の模式図を示す。なお、以下の説明において、具体的数値は理解を助けるために、あくまでも一例として記載したものであり、特に限定するものではないことを、予め断っておく。チタンサファイアレーザ発生装置21で発生したチタンサファイアレーザ1(パルス幅: 120 fs、中心波長 $\lambda$ : 800 nm、繰り返し周波数: 1 kHz、パルスエネルギーE: 0.25～400  $\mu$ J)は、1/2波長板22と偏光ビームスプリッタ23を

用いてパルスエネルギーを調整可能にした上で、レンズ（焦点距離： $f = 100$  mm）24を通して、 $X-Y-\theta$ ステージ25上の材料2の表面に照射した。 $X-Y-\theta$ ステージ25の分解能は任意でよいが、例えば、 $2\ \mu\text{m}$ のものをを用いた。レーザ1が材料2上でオーバーラップしながら照射されるように、 $X-Y-\theta$ ステージ25により $0.25\text{ mm/s}$ （125 p p s）の速度で材料2を移動させて、入射光と表面に沿った散乱光との干渉によるアブレーションを行ない、連続的にグレーティング構造を作成した。

### 【0039】

材料2の走査速度は、レーザ1のスポット径とレーザ1の波長 $\lambda$ とに応じて設定する。レーザ1の材料2への入射角 $\theta$ は、 $0^\circ$ とした。材料2として、いずれも厚さ寸法が $50\ \mu\text{m}$ のSiおよびCuテープを用いた。このようにして得られたグレーティング構造の観測には、レーザ顕微鏡および原子間顕微鏡（AFM）を使用した。

### 【0040】

#### [Siのグレーティング構造]

$f = 100\text{ mm}$ の平凸レンズ24により材料2としてのSi基板の表面に、加工閾値近傍のレーザ1を3スキャンして、グレーティング構造を作成した。レーザ1の走査方向と偏光方向が平行な場合のグレーティング構造を、図3（a）（b）に示す。また、偏光方向を $90^\circ$ 回転させた場合のグレーティング構造を、図4（a）（b）に示す。図3（a），図4（a）が全体の様子を示し、図3（b），図4（b）が作成されたグレーティング構造を拡大した詳細を示す。図3（a），図4（a）において、それぞれ3スキャンしているのが理解し易いように、2スキャン目は途中でレーザ照射を停止している。これらのグレーティング構造は、すべて偏光方向に直交して形成されている。グレーティング構造の周期ピッチはレーザ波長 $\lambda$ （ $800\text{ nm}$ ）よりやや短く、 $700\text{ nm}$ 前後となった。各スキャンのオーバーラップ部も大きな乱れは見受けられない。

### 【0041】

さらに、レーザフルエンスを加工閾値ぎりぎりまで低下させ、極力アブレーションを抑えた場合のグレーティング構造を、図5に示す。グレーティング構造の

周期ピッチは795 nmであり、レーザの波長 $\lambda$  (中心波長800 nm) とよく一致している。

#### 【0042】

より広い範囲にグレーティング構造を形成するため、ビームエキスパンダを用いてレーザを拡大し、さらに、 $f = 100 \text{ mm}$ のシリンドリカルレンズを用いて集光した線状レーザを照射してグレーティング構造を形成したところ、グレーティング構造が幅2 mm以上にわたって1 スキャン形成された。このグレーティング構造を図6に示す。周期ピッチは700 nmであり、平凸レンズにより加工閾値近傍で形成されたグレーティング構造 (図3) と大差ないものが得られた。

#### 【0043】

シリンドリカルレンズにより得られたグレーティング構造に白色光を照射すると、分光能力が認められ、広い範囲に一定間隔の周期的なグレーティング構造が得られていることが確認された。

#### 【0044】

##### [Cuテープのグレーティング構造]

$f = 100 \text{ mm}$ のシリンドリカルレンズを用いてCuテープにグレーティング構造を形成したところ、Siと同様にグレーティング構造が幅2 mm以上にわたって1 スキャンで形成された。ただし、Cuテープの場合は、ワークディスタンスを焦点距離より1 mm短い99 mmとしたときに、比較的良好なグレーティング構造が得られた。また、Siの場合 ( $E = 100 \mu\text{J} / \text{pulse}$ ) と比較すると、3倍強のパルスエネルギー ( $E = 400 \mu\text{J} / \text{pulse}$ ) が必要であった。図7はグレーティング構造を示し、グレーティング構造の周期ピッチは約700 nmで、Siの場合とほとんど差異は認められない。

#### 【0045】

なお、上記のSi, Cuテープ以外の材料についても、上記Si, Cuテープと同様に、グレーティング構造の作成が可能であった。

#### 【0046】

このようにして、本発明によれば、材料表面にレーザを照射し、その照射光を走査することによって、グレーティング構造が形成されるが、レーザの偏光方向



をY方向にすれば、図8 (a) に示すように、X方向のグレーティング構造8<sub>X</sub>を形成することができるし、レーザの偏光方向をX方向にすれば、図8 (b) に示すように、Y方向のグレーティング構造8<sub>Y</sub>を形成することができる。

#### 【0047】

前述のように、レーザの偏光方向を変更することによって、グレーティング構造の方向を変更することができることに基づいて、例えば、加工閾値近傍のレーザを照射し、その照射部分をオーバーラップさせながらレーザをある方向に走査して、図8 (a) に示すように、一方向のグレーティング構造8<sub>X</sub>を形成した後、そのグレーティング構造8<sub>X</sub>に重ね合わせて、材料表面と偏光方向の相対角度を変更して、加工閾値近傍のレーザを照射し、その照射部分をオーバーラップさせながらレーザを走査することによって、異なる方向のグレーティング構造8<sub>Y</sub>を形成することにより、複数方向に重ね合わせたグレーティング構造8<sub>Z</sub>を形成することができる。したがって、例えば、図8 (c) に示すように、先のグレーティング形成時と後のグレーティング形成時における材料表面とレーザの偏光方向の相対角度を90° 変更すれば、格子状のグレーティング構造を形成することができるし、先のグレーティング形成時と後のグレーティング形成時における材料表面とレーザの偏光方向の相対角度を90° 以外の任意角度で変更すれば、斜格子状のグレーティング構造を形成することができる。

#### 【0048】

また、例えば、図8 (d) に示すように、加工閾値近傍のレーザを照射し、その照射部分をオーバーラップさせながらレーザをある方向に走査して、一方向のグレーティング構造8<sub>X</sub>を形成した後、そのグレーティング構造8<sub>X</sub>に隣接して、または離隔させて、材料表面とレーザの偏光方向の相対角度を変更して、加工閾値近傍のレーザを照射し、その照射部分をオーバーラップさせながらレーザを走査することによって、先に形成した一方向のグレーティング構造8<sub>X</sub>に隣接して、または離隔して異なる方向にグレーティング構造8<sub>Y</sub>を形成することができる。したがって、先のグレーティング形成時と後のグレーティング形成時における材料表面とレーザの偏光方向の相対角度を90° 変更すれば、X方向のグレーティング構造8<sub>X</sub>とY方向のグレーティング構造8<sub>Y</sub>とを混在させて形成することが

できるし、先のグレーティング形成時と後のグレーティング形成時における材料表面とレーザの偏光方向の相対角度を  $90^\circ$  以外の任意角度で変更すれば、向きが異なったグレーティング構造を混在させて形成することができる。

#### 【0049】

また、前述のように、レーザの偏光方向を変更することによって、グレーティング構造の方向を変更することができることに基づいて、図9に示すレーザ照射装置40を用いて、図8(c)に示すような、複数方向に重ね合わされたグレーティング構造を一工程で形成することができる。図9のグレーティング構造形成装置40は、チタンサファイアレーザ発生装置41で発生したレーザ $L_0$ を、ミラー42で全反射させ、ハーフミラー43でレーザ $L_1$ と $L_2$ とに分離し、一方のレーザ $L_1$ をミラー44、45で全反射させ、他方のレーザ $L_2$ に光学遅延46を形成する。この光学遅延46は、ミラー47、48を有する。双方のレーザ $L_1$ 、 $L_2$ を偏光装置49、50によって所定方向に偏光させたレーザ $L_3$ 、 $L_4$ を、ハーフミラー51に供給し、このハーフミラー51で前記の偏光されたレーザ $L_3$ 、 $L_4$ を重ね合わせて、レンズ52を通してX-Yテーブル53に搭載された材料54の表面に照射することで、偏光方向が異なる複数パルスの加工閾値近傍のレーザ $L_3$ 、 $L_4$ を、材料54の表面に所定の時間間隔で照射することができる。そして、その照射部分をオーバーラップさせながら走査することによって、自己組織的に、図8(c)に示すような、複数方向に重ね合わされたグレーティング構造8Zを一度に形成することができる。

#### 【0050】

したがって、例えば、偏光方向が  $90^\circ$  異なる複数パルスの加工閾値近傍のレーザ $L_3$ と $L_4$ とを所定の時間間隔で照射し、その照射部分をオーバーラップさせながら走査することによって、自己組織的に図8(c)に示すような、X方向のグレーティング構造8Xと  $90^\circ$  異なるY方向のグレーティング構造8Yとを重ね合わせた格子状のグレーティング構造8Zを一工程で形成することができる。また、偏光方向が  $90^\circ$  以外の任意角度異なる複数パルスの加工閾値近傍のレーザを所定の時間間隔で照射し、その照射部分をオーバーラップさせながら走査することによって、自己組織的に  $90^\circ$  以外の任意角度で交差する斜格子状のグレー

ティング構造を形成することができる。

#### 【0051】

次に、上記のグレーティング構造による材料表面特性の変化について説明する。表面特性を変化させる材料として、厚さ寸法が $50\mu\text{m}$ のSiを用いた。また、照射レーザとして、超短パルスのチタンサファイアレーザ、例えば、パルス幅 $120\text{fs}$ 、中心波長 $800\text{nm}$ 、繰り返し周波数 $1\text{kHz}$ 、パルスエネルギー $100\mu\text{J}/\text{pulse}$ を、レーザエキスパンダで拡大し、さらにシリンドリカルレンズによって集光して、前記Si表面に照射し、その照射部分をオーバーラップさせながら走査速度 $0.25\text{mm}/\text{s}$ で走査した。その結果、周期が $0.7\mu\text{m}$ で、深さが $0.2\mu\text{m}$ のグレーティング構造が形成された。

#### 【0052】

上記のグレーティング構造が形成されたSi表面の微粒子付着特性を、鏡面状のSiの微粒子付着特性とを比較すると、表1の結果が得られた。

#### 【0053】

【表1】

微粒子付着抑制効果		
	本発明	鏡面
面 積	$115\text{mm}^2$	$68.5\text{mm}^2$
微粒子付着数	0個	260個
付 着 密 度	$0/\text{mm}^2$	$3.8/\text{mm}^2$

#### 【0054】

上記表1に示すように、グレーティング構造によって、Si表面の微粒子付着抑制効果が得られることから、引き離し力が低減していることが明らかである。マイクロマシンでは、自身の重量が小さいために、引き離し力が摩擦力に支配的な影響を及ぼす。グレーティング構造を形成することで、引き離し力を低減できるため、マイクロマシンの摩擦力を低減することが可能となる。また、摩擦力の低減により、摩耗を低減することが可能となる。

#### 【0055】

なお、本発明は、マイクロマシンに限らず、精密な自動車用エンジンのクランクシャフト、ピストンリングなどに適用すると、グレーティング構造が潤滑剤の保持および補給機能を持つことにより、材料表面の摩擦、摩耗低減効果が得られる。

#### 【0056】

##### 【発明の効果】

本発明の表面処理方法は、材料表面に、グレーティング構造を形成し、材料表面特性を変化させることを特徴とするものであるから、塵埃・微粒子付着性、摩擦・摩耗性、濡れ性などの一つまたは二つ以上の材料表面特性が変化させることができる。したがって、例えば、マイクロマシンなどの微細部品において、グレーティング構造形成によって、空気中の水分などの凝縮に起因する引き離し力の低減により、乾燥摩擦を低減することが可能になる。また、自動車エンジン部品などの高速で摺動する部分を有する部品などにおいては、グレーティング構造が潤滑剤の保持および補給機能を持つことにより、材料表面の摩擦、摩耗低減効果が得られる。

##### 【図面の簡単な説明】

##### 【図1】

本発明の基礎となるグレーティング構造作成方法について説明する概略斜視図である。

##### 【図2】

本発明の実施形態のグレーティング構造作成に用いる装置の概略構成図である。

##### 【図3】

(a) は本発明の実施形態のグレーティング構造作成方法によって Si 表面にレーザを 3 スキャン走査して形成したグレーティング構造の平面図、

(b) は (a) のグレーティング構造の拡大詳細図である。

##### 【図4】

(a) は本発明の実施形態のグレーティング構造作成方法により Si 表面に偏光方向を 90° 回転させてレーザを 3 スキャン走査して形成したグレーティング

構造の平面図、

(b) は (a) のグレーティング構造の拡大詳細図である。

【図 5】

本発明の実施形態のグレーティング構造作成方法によりレーザフルエンスを加工閾値ぎりぎりにして Si 表面に形成したグレーティング構造の平面図である。

【図 6】

本発明の実施形態のグレーティング構造作成方法により Si 表面にシリンドリカルレンズを用いて形成したグレーティング構造の拡大詳細図である。

【図 7】

本発明の実施形態のグレーティング構造作成方法により Cu テープ表面にシリンドリカルレンズを用いて形成したグレーティング構造の平面図である。

【図 8】

(a) は X 方向のグレーティング構造の拡大斜視図、

(b) は Y 方向のグレーティング構造の拡大斜視図、

(c) は X 方向のグレーティング構造と Y 方向のグレーティング構造とを重ね合わせて形成した複合型グレーティング構造の斜視図、

(d) は X 方向のグレーティング構造と Y 方向のグレーティング構造とを混在させて形成したグレーティング構造の斜視図である。

【図 9】

一方向のグレーティング構造と他方向のグレーティング構造とを一工程で形成するグレーティング構造形成装置の構成図である。

【符号の説明】

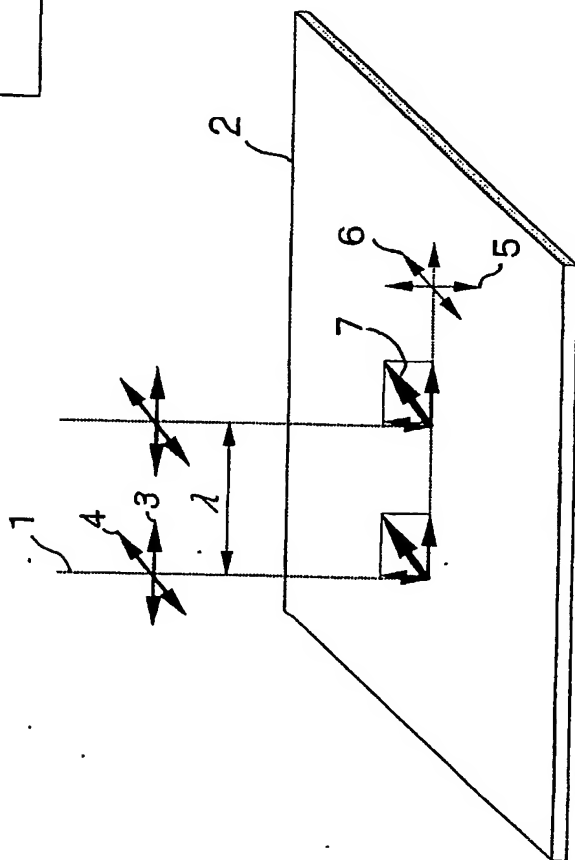
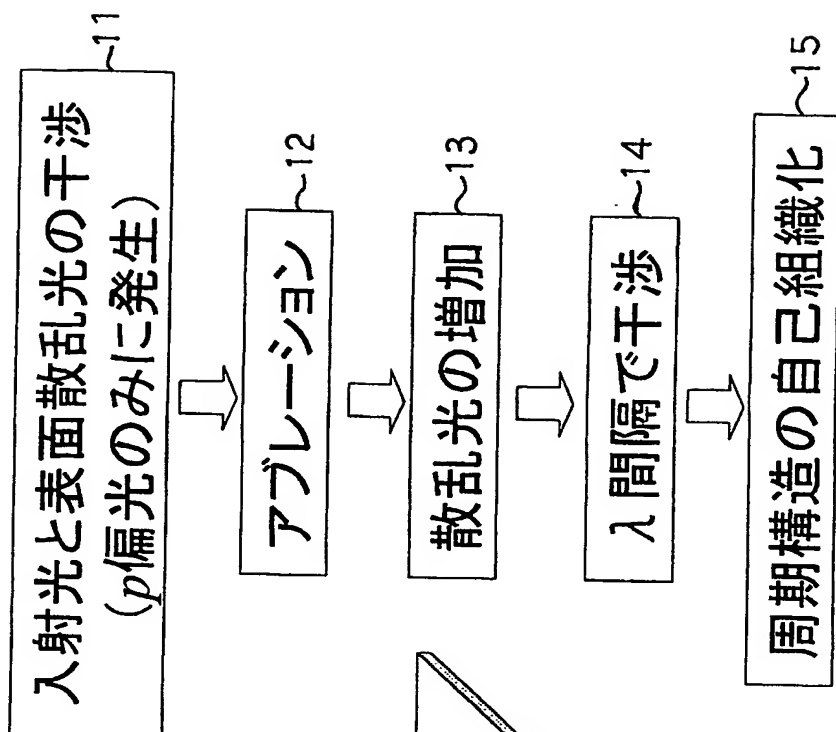
- 1 レーザ (入射光)
- 2 材料
- 3 入射光の p 偏光成分
- 4 入射光の s 偏光成分
- 5 表面散乱光の p 偏光成分
- 6 表面散乱光の s 偏光成分
- 7 定在波

- 8X X方向のグレーティング構造
- 8Y Y方向のグレーティング構造
- 8Z X方向とY方向に重ね合わせて形成されたグレーティング構造
- 11 入射光と表面散乱光の干渉
- 12 アブレーション
- 13 散乱光の増加
- 14 波長 $\lambda$ 間隔で生じる干渉
- 15 グレーティング構造の自己組織化
- 20 グレーティング構造作成装置
- 21 チタンサファイアレーザ発生装置
- 22  $\lambda/2$ 波長板
- 23 偏光ビームスプリッタ
- 24 レンズ
- 25 X-Y- $\theta$ ステージ
- 31 sタイプのグレーティング構造
- 32 s+タイプのグレーティング構造
- 40 グレーティング構造形成装置
- 41 レーザ発生装置
- 42, 44, 45, 47, 48 ミラー
- 43, 51 ハーフミラー
- 46 光学遅延
- 49, 50 偏光装置
- 52 レンズ
- 53 X-Yテーブル
- 54 材料
- L<sub>0</sub> レーザ発生装置により発生したレーザ
- L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub> ハーフミラーで分割されたレーザ
- L<sub>3</sub>, L<sub>4</sub> 所定方向に偏光されたレーザ

【書類名】

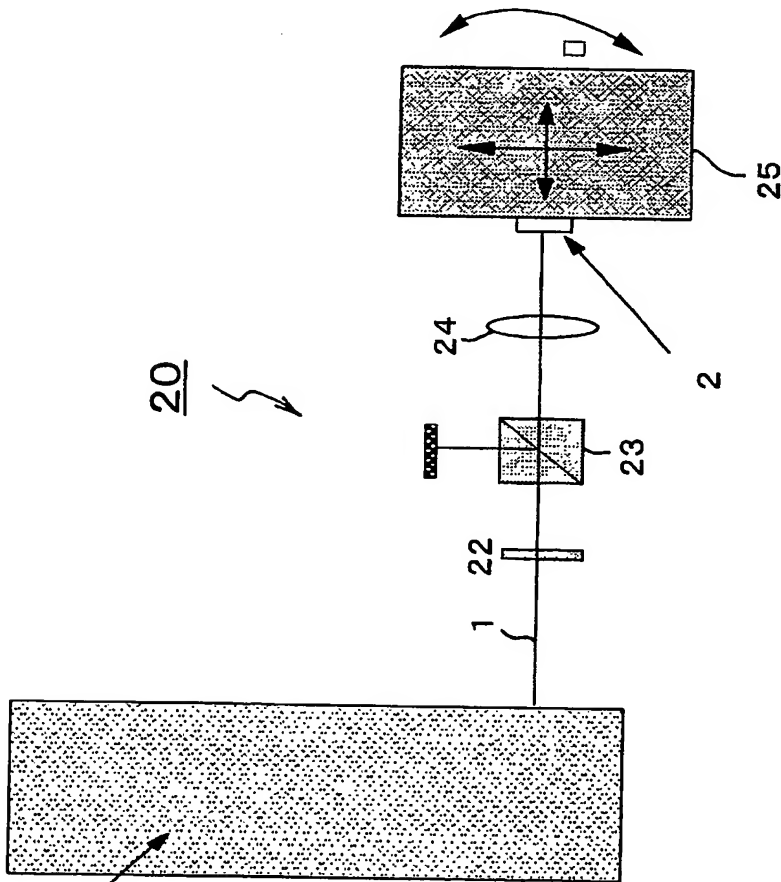
図面

【図 1】



【図 2】

21



### 作成条件

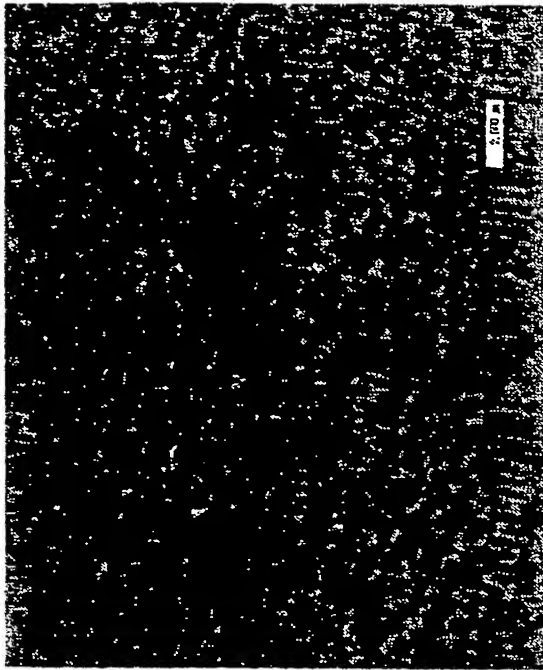
パルス幅 120fs  
 中心波長 800nm  
 繰り返し周波数 1kHz  
 パルスエネルギー  
 0.25~400  $\mu$ J  
 走査速度 0.1, 0.25mm/s  
 レンズ焦点距離  $f=100$ mm  
 入射角 0

### 材料

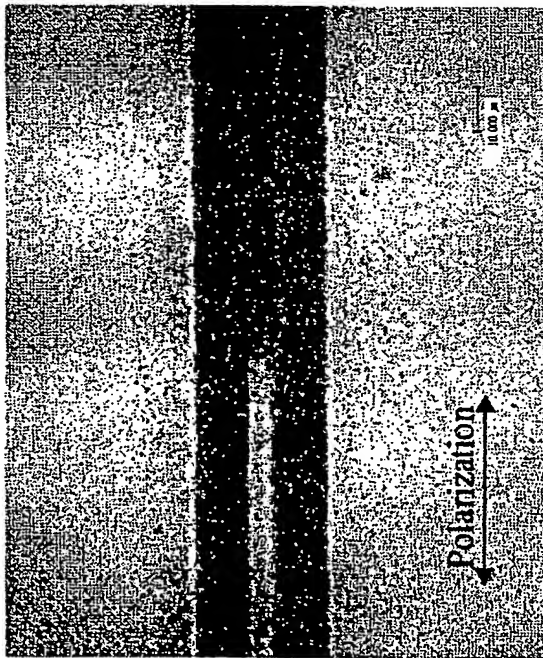
Si (厚さ50  $\mu$ m)  
 Cuテーパー (厚さ50  $\mu$ m)



【図 3】



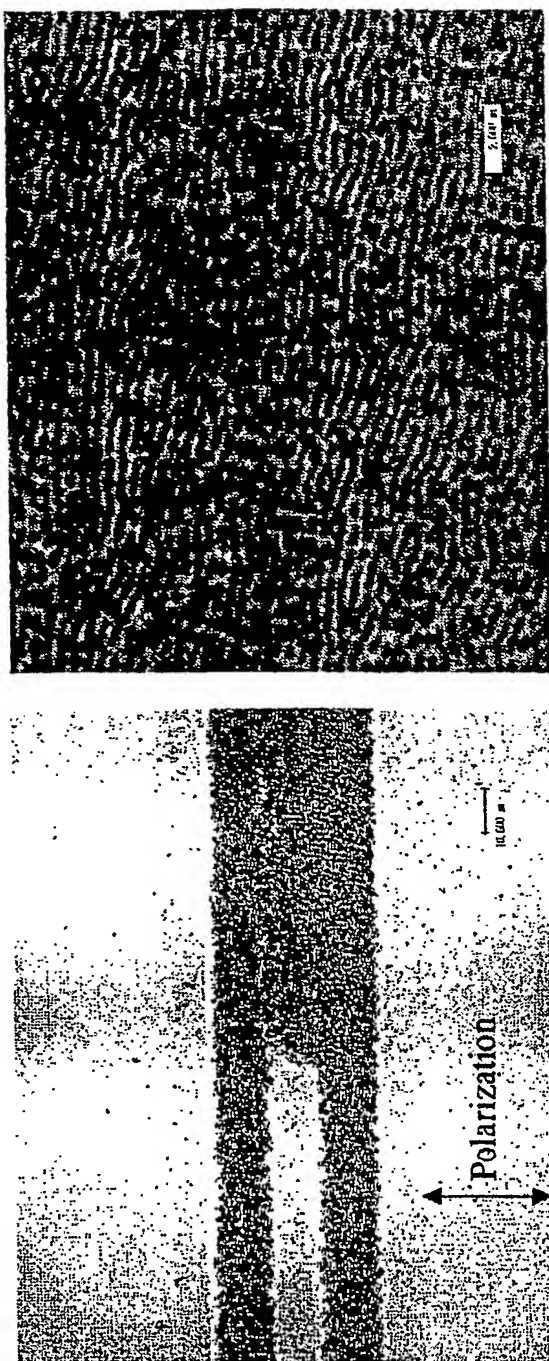
(b)



(a)

Si,  $E=0.4 \mu\text{J/pulse}$ ,  $V=0.25\text{mm/s}$ ,  $f=100\text{mm}$ 凸レンズ使用

【図 4】

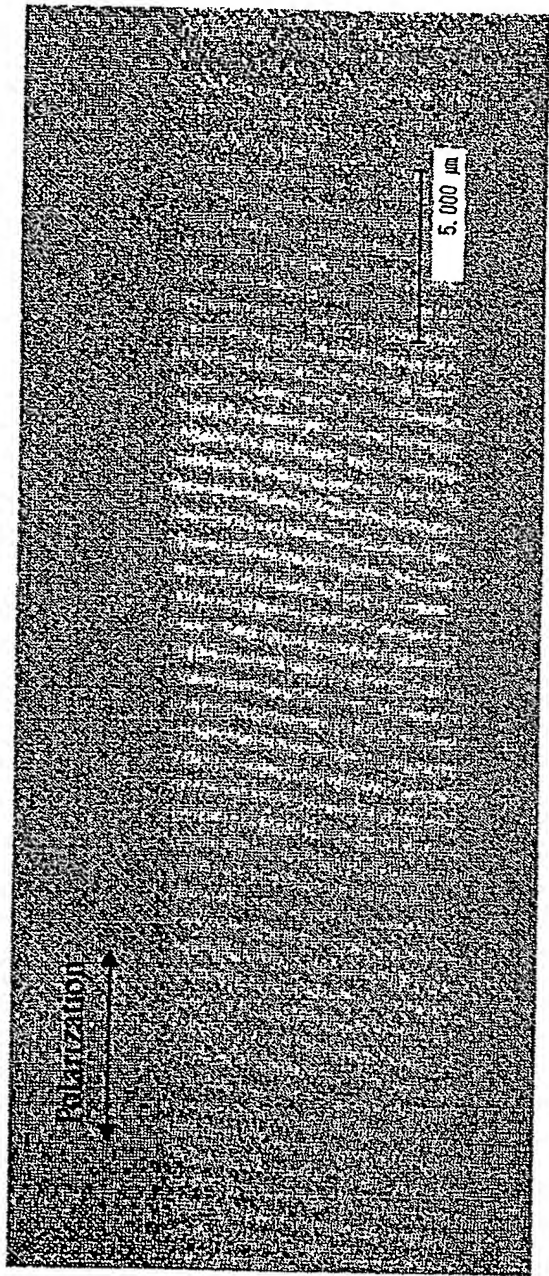


Si,  $E=0.45 \mu\text{J/pulse}$ ,  $V=0.25\text{mm/s}$ ,  $f=100\text{mm}$  凸レンズ使用

(a)

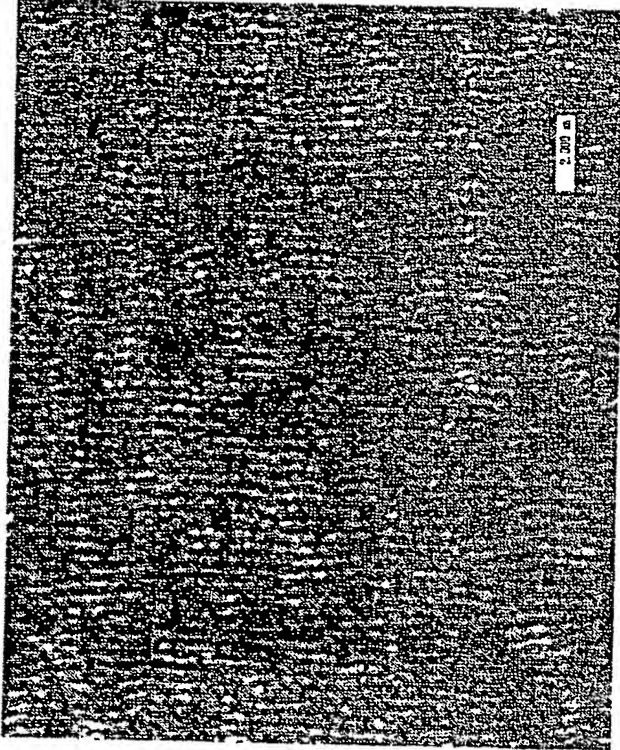
(b)

【図 5】



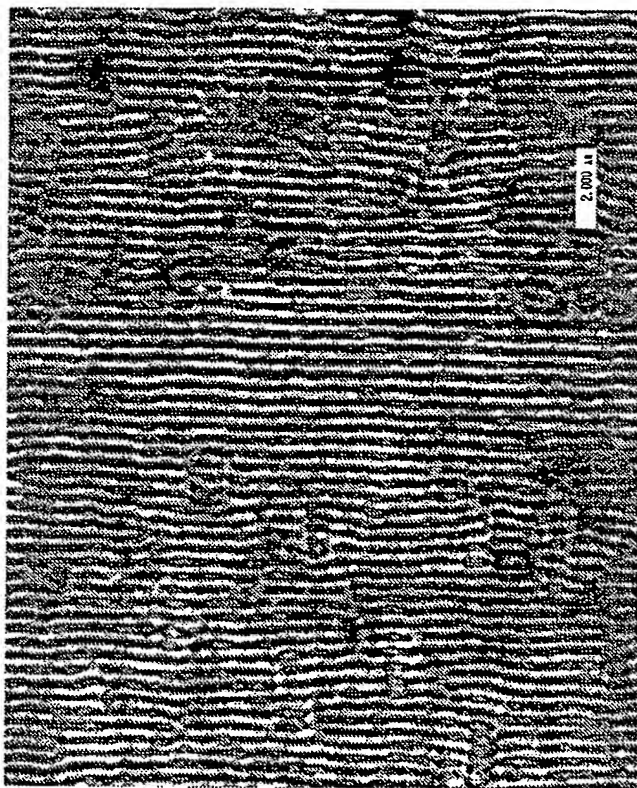
Si,  $E=0.25 \mu\text{J/pulse}$ ,  $V=0.25\text{mm/s}$ ,  $f=100\text{mm}$ 凸レンズ使用

【図 6】



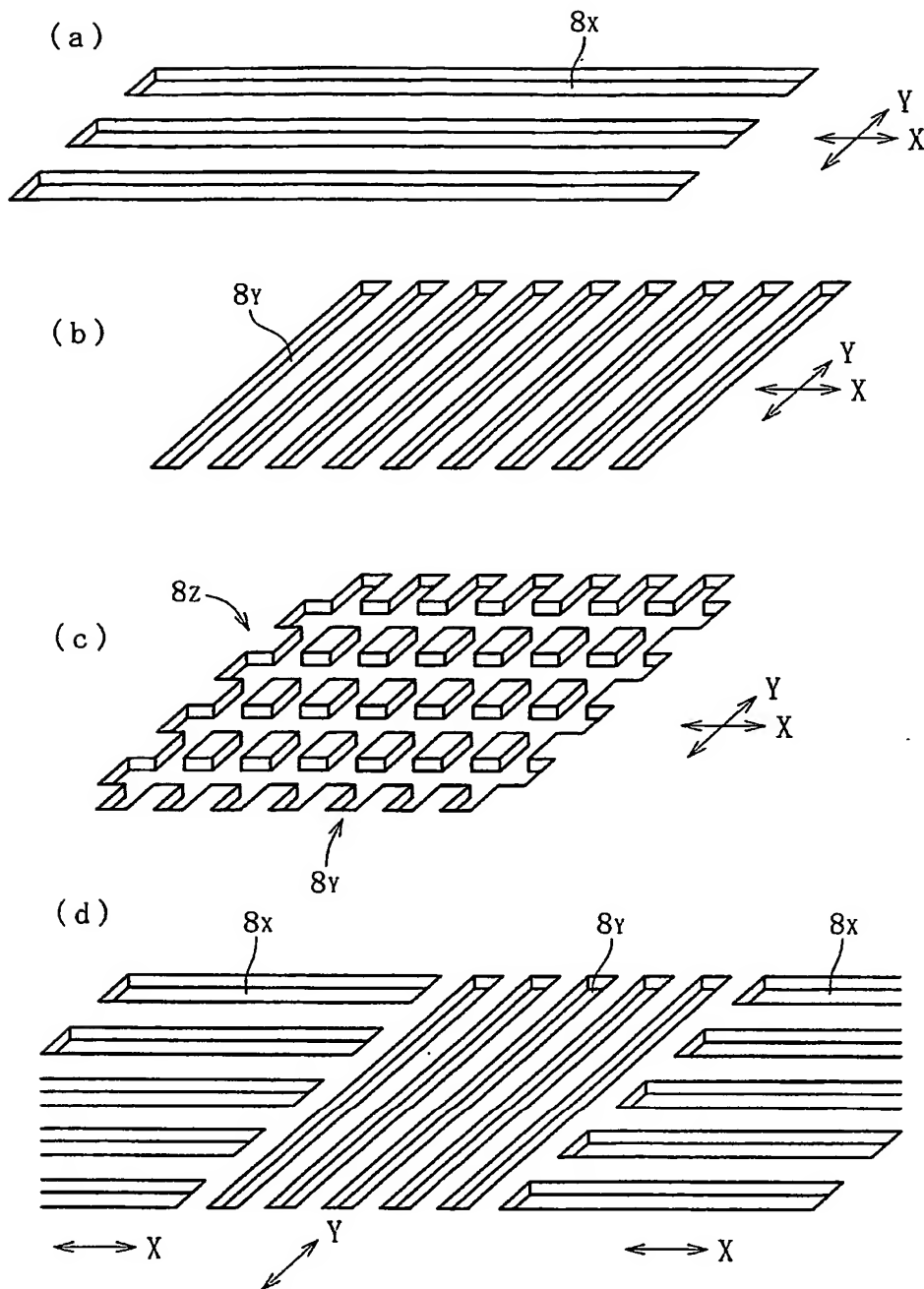
Si,  $E=100\ \mu\text{J/pulse}$ ,  $V=0.25\text{mm/s}$ ,  $f=100\text{mm}$  シリンドリカルレンズ使用

【図 7】

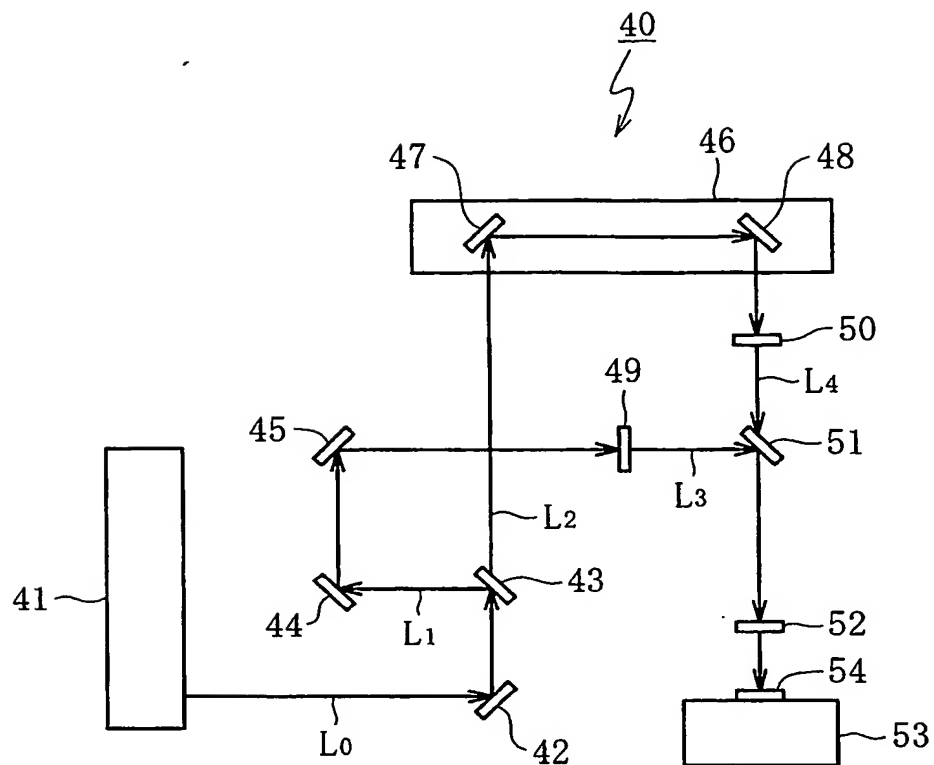


Cu,  $E=400\text{ }\mu\text{J/pulse}$ ,  $V=0.25\text{mm/s}$ ,  $f=100\text{mm}$  シリンドリカルレンズ使用

【図 8】



【図 9】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 材料表面特性を改善する。

【解決手段】 材料表面に、加工閾値近傍のレーザを照射し、その照射光をオーバーラップさせながら走査して、入射光と材料表面に沿った散乱光との干渉によるアブレーションによって、散乱光を増大させて、レーザの波長 $\lambda$ 間隔で干渉を起こさせて、自己組織的にグレーティング構造を作成する。グレーティング構造は、X方向のグレーティング構造 $8_x$ のみ、またはY方向のグレーティング構造 $8_y$ のみ、あるいはX方向のグレーティング構造 $8_x$ とY方向のグレーティング構造 $8_y$ との複数方向に重ね合わせたグレーティング構造 $8_z$ 、もしくはX方向のグレーティング構造 $8_x$ とY方向のグレーティング構造 $8_y$ の複数方向に混在させて形成することによって、材料表面の塵埃・微粒子付着性、摩擦・摩耗性、濡れ性などの一つまたは二つ以上の材料表面特性を変化させる。

【選択図】 図8



特願 2002-344478

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[000110859]

1. 変更年月日

1990年 8月17日

[変更理由]

新規登録

住 所

滋賀県大津市晴嵐2丁目9番1号

氏 名

ニチデン機械株式会社

2. 変更年月日

2000年10月31日

[変更理由]

名称変更

住所変更

住 所

滋賀県草津市南山田町字縄手崎85番地

氏 名

エヌイーシーマシナリー株式会社

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☒ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**